



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

I. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2015eko maiatzaren 13, 14 eta 15
Durango, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Maiztasunarekiko independentea
den I/Q desorekaren azterketa
banda zabaleko mikrouhin
loturetan**

*Ainhoa Rezola, Juan Francisco
Sevillano eta Igone Vélez*

467-474 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.i.64>

ANTOLATZAILEA:



udako
euskal unibertsitatea

BABESLEAK:



EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO



Bizkaiko Foru Aldundia
Diputación Foral de Bizkaia

oman ta zabil zazu



UPV EHU

LAGUNTZAILEAK:



Universidad de Deusto
Deustuko Unibertsitatea



MONDRAGON
UNIBERTSITATEA



UDALBILTZA



UPNA
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

Maiztasunarekiko independentea den I/Q desorekaren azterketa banda zabaleko mikrouhin loturetan

Ainhoa Rezola

Juan Francisco Sevillano

Igone Vélez

Ikasketa eta Ikerkuntza Teknikoen Zentroa (CEIT-IK4) - Donostia

Laburpena

Etorkizuneko mugikor sareen eskakizunei aurre egiteko, puntuz puntuko mikrouhin loturen helburu nagusia hainbat Gigabit-eko datu tasak lortzea da, horretarako beharrezkoak diren banda zabala eta maila altuko modulazioak erabiliz. E-banda lan egiten duten eta zero-IF arkitektura duten sistemenek hautagai aproposenak dirudite helburu hau lortzeko. Hala ere, E-bandako igorgailu-hargailuen diseinuak erronka handiak aurkezten ditu, hala nola, I/Q desorekak nabarmen kaltetzen du sistemaren errendimendua. Artikulu honetan I/Q desorekak igorgailu-hargailuetan duen eragina aztertzeaz gain, seinalearen prozesatze digitalaren bitartez akats hau zuzentzeko teknikak ere ikusiko dira.

Hitz gakoak: banda zabala, RF akatsak, I/Q desoreka, mikrouhin

Abstract

In order to cope with the requirements of future networks, mmW links should achieve Gigabit data rates. These data rates can be achieved using wide-band and high order modulations in E-Band. Zero-IF architectures are good candidates for integrated transceivers. However, the design of integrated transceivers in the E-band is a challenging issue. An important source of degradation is I/Q imbalance, which can significantly reduce the performance of a communication system. In this paper, the impact of the I/Q imbalance impairment on the transmitted and received signal is analyzed and suitable digital signal processing techniques are evaluated.

Keywords: wide-band, RF impairments, I/Q imbalance, mmW

1 Sarrera eta motibazioa

Ukipen-pantaila duten gailuen, hala nola, smartphone eta tablet PC gisakoen sorrerarekin batera, erabiltzaileek beren telefono mugikorrek etxeko edo bulegoko konexio abiadura berdinarekin erabili nahi dituzte. Hala ere, egungo sare-azpiegiturak eta hauei loturiko negozio-ereduak ez daude eskari honi aurre egiteko prestatuak (Litjens *et al.*, 2014). Abiadura handiko konexioak lortu ahal izateko, nahitaezkoa da seinalearen banda gaur egun eskuragarria dena baino askoz ere zabalagoa izatea. Banda zabalaren eskari honen aurrean, Europar Batzordeak lehentasuna eman dio norabide honetan jarduteari, interneterako sarbide azkarragoak lortzeko, alegia.

Hainbat ikerketa lanen ondorioek dioten bezala, banda zabalak eta abiadura handiko interneterako sarbideak hazkunde ekonomikoan (BPG-ren bidez neurtua) eta enpleguaren sorpenean eragin positibo handia izango du. Gainera, zenbait ikerketek diote banda zabalaren hedapenak 2020. urteko klima helburuak betetzen lagun dezakeela. Banda zabala izateak etxetik lan egiteko aukera sor dezake eta ondorioz, lantokietara bidaia gutxiago egin, CO₂-aren emisioak murriztuz. Bestalde, banda zabalak sare adimentsuetako zerbitzuak erabiltzea ahalbidetzen du, 850 mila milioi euro gordinen aurrezpena ekar dezakeena.

Bestalde, pixkanaka dena internetera konektatuta dagoen mundu baterantz abiatzen ari gara. Gaur egun baditugu internetara konektatzen diren smartphone, tablet, ordenagailu, telebista eta baita autoak ere, baina hori ez da ezer etorkizunean izango dugunarekin alderatuz. Gauzen Internetara askoz haratago doa, izan ere, 2020an 100 milioi objektu baino gehiago elkarren artean konektatuta egongo direla uste da (Coetzee eta Eksteen, 2011).

Internet eta interneten oinarritutako teknologiek enpresen produktibitatea eta lehiakortasuna handitzen dute merkatu globalean. Teknologia digitalen hedapenak eta erabilera eraginkorragoak herritarrei

bizi-kalitate hobea eta zerbitzu publikoen eta eduki kulturalen sarbide errazagoa ahalbidetuko dute. Hezkuntzan ere banda zabalaren abantailak anitzak dira: produktibitatea bera banda zabalari esker hazi daiteke, internet bidezko ikastaroak ikasgela tradizionalako ikastaroak baino %50 merkeagoak izan daitezkeelako; bestalde, internet bidezko hezkuntzaren hedapenak urrutiko hezkuntza jasotzeko aukera ematen du. Hori guztia dela eta, ezinbestekotzat jotzen da herritar guztiek banda zabaleko interneterako sarbidea izatea.

Konexio azkarrak lortu ahal izateako, zuntz optikoak aukera erakargarria dirudi, izan ere, abiadura azkarra ziurtatzen du. Hala ere, zuntzak desabantaila nabarmenak ditu, kostu handia eta malgutasun mugatua besteak beste. Horregatik, puntuz puntuko mikrouhin loturek zuntz optikoa ordezkatzeko aukera interesgarria dirudite gastu operatibo eta kapital-gastuei dagokienez (Rezola *et al.*, 2014). 2020rako Europako Agenda Digitalaren helburuarekin bat etorritik, E3Network proiektu europarraren helburu nagusia segundoko 10 gigabiteko (Gb) konexioa lortzea da, horretarako beharrezkoa den 2GHz-ko banda zabalera duen seinalea erabiliaz. Proiektuan diseinatuko den igorgailu-hargailuak E-bandan operatuko du, hau da, 71-76 GHz eta 81-86 GHz arteko maiztasunetan. Espektroko maiztasun hauetan lan egiteak abiadura azkarrak lortzea ahalbidetzen du, horretarako beharrezkoa den banda zabalera eskaintzen duelako.

2 Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Gaur egun E-bandan lan egiten duten sistemek gehienez ere segundoko 2.5 Gb-eko abiadura lor dezakete (Zhang eta Cui, 2014). Etorkizuneko komunikazio sistemek, ordea, datu tasa handiagoak behar dituzte eta lortu ahal izateko, banda zabala ez ezik, maila altua duten modulazioak ere erabili behar dira. Hori dela eta, E3Network proiektuan 64-QAM modulazioa erabiliko da. Banda zabaleko eta maila altuko modulazioa duten komunikazio sistemen disenuak bi erronka nagusi ditu: Alde batetik, sistema osatzen duten zirkuitu elektronikoen fabrikazioa eta bestetik, seinalearen prozesatze digitala (Zhu. *et al.*, 2013).

Elektronikari dagokionez, zirkuitu integratuen teknologia hobetzen joan den heinean, transistoreen luzera murrizten joan da. Ondorioz, zirkuitu hauen fabrikazioa konplexuago bilakatzen ari da eta fabrikaturiko zirkuitu batetik bestera aldakuntza nabarmenak egon ohi dira. Gainera, radio-frekuentzian (RF) lan egiten duten zirkuitu guztiak, beren eraikuntzan berezko diren fabrikatze akatsekini datoz. Akats hauek, kontuan hartu ezean, eragin kaltegarriak sor ditzakete, hala nola, espektroaren hedapena, zarata eta interferentzia. Efektu hauek transmititzen edo jasotzen den seinalearen ezaugarriak kaltetzen dituzte eta ondorioz, komunikazio sistemaren errendimendua eta abiadura mugatu (Witt, 2011)(Ye *et al.*, 2014).

Fabrikazio prozesuan ez ezik, seinalearen prozesatze digitalean ere 2GHz-ko banda duen seinale batekin lan egitea erronka handia da. Seinalearen banda hain zabala izateak, bihurgailu digital/analogikoen (D/A) eta analogiko/digitalen (A/D) lagin-tasa handia behar izatea suposatzen du eta horrek seinalearen prozesatze lana nabarmen zailtzen du. Gainera, maila altua duten modulazioak RF akatsekiko oso sentikorrak dira.

Ezarritako zehaztapenak bete ahal izateko eta sistemaren funtzionamendu egokia bermatzeko, beharrezkoa da elektronika analogikoari loturiko akatsak zuzentzea (Mehrpooyan *et al.*, 2014). Horretarako, konpentsazio digitala da azken urteotan erabiltzen hasi den teknika bat. Goiburu analogikoaren zehaztapenak eta tolerantziak egokitu beharrian, kasu askotan irtenbide eraginkorragoa da akatsak eremu digitalean konpentsatzea, seinalearen prozesatze digitalaren teknika eta algoritmoak erabiliz.

Artikulu honetan seinale digitala prozesatzeko teknika berriak azalduko dira, igorgailu eta hargailuetako goiburu analogikoan sortutako akatsen eraginak estimatu eta konpentsatzeko. Modulazio koadratikoetako osziladore lokaletan suertatzen den akats garrantzitsuenetako batean zentratzen da artikulua, I/Q desoreka deritzona. Modulatzaile edo demodulatzaile koadratiko ideal batean seinalearen erreplika edo irudiak guztiz gaitzesten dira. I/Q desoreka ageri denean ordea, erreplikak ez dira guztiz desagertzen eta ondorioz interferentzia sortzen da sisteman (Valkama *et al.*, 2001). Artikulu honetan interferentzia honek sistemaren errendimenduan nola eragiten duen aztertzeaz gain, arazo honi aurre egiteko teknikak proposatuko dira.

Etorkizuneko Gauzen Internetaren testuinguruan, non objektuak beraien artean konektatuta dauden, oso garrantzitsua da horien artean konexio ona egotea. Hori lortzeko aukera bat prestakuntza oso onak dituzten eta ondorioz garestiak diren osagai elektronikoen erabiliz da. Gure ikerketa lanarekin proposatzen duguna aldiz, osagai arruntagoak erabiliz akatsak konpentsazio digitalaren bidez konpontzea

da.

3 Ikerketaren muina

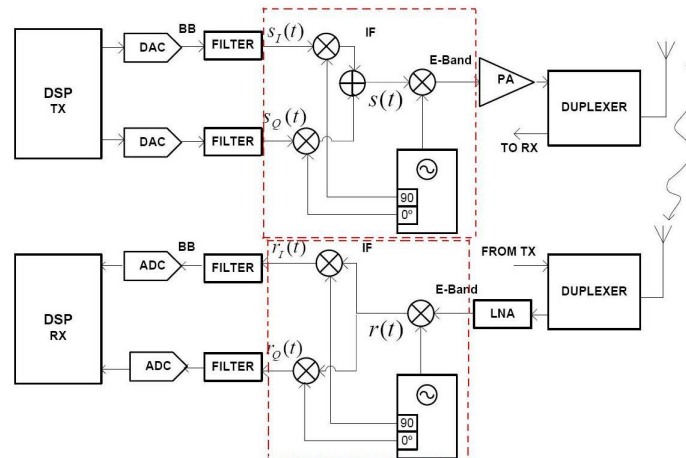
3.1 Igorgailu-hargailuaren arkitektura

Etorkizuneko komunikazio sareen eskariari aurre egiteko, E-bandan jarduten duen puntuz puntuko mikrouhin lotura kontsideratu da, 64-QAM modulazioa eta 2GHz-ko banda zabalera duena. 1 irudian proposaturiko igorgailu-hargailuaren (TRx) arkitektura ikus daiteke. Igorgailuaren (Tx) goiburu analogikoa honako atal hauek osaturik dago: I/Q modulatuak bat, oinarri-bandako I eta Q seinaleak bitarteko maiztasun (IF) batera igotzen dituen; nahasgailu bat IF seinalea E-bandara igoko duena eta azkenik, potentzi aplikadore bat (PA), E-bandako seinalea aplikatzeaz arduratuko dena. Hargailuaren (Rx) lehen etapan aplikadore batek (LNA) jasotako E-bandako seinalea aplikatuko du. Ondoren, nahasgailu batek igorgailuko IF berera jaitsiko du seinalea eta azkenik, I/Q demodulatuak IF seinalea 0Hz-tara jaitsiko du.

Arkitektura honek D/A eta A/D bihurtzearen lagin-tasa minimizatzea ahalbidetzen du. Gaur egun, ia 3Gspseko (3 giga-lagin segundoko) lagintze-tasa duten bihurtze komertzialak aurki daitezke, nahikoak direnak zero-IF arkitektura erabiltzerako garaian. Beste arkitektura batzuk erabiliz gero, 4 Gspseko lagintze-tasa handiagoa beharko litzateke, gaur egun eskuragarria ez dena.

Dena den, zero-IF arkitekturak ere baditu bere arazoak. Arkitektura honi RF-ko akatsek nabarmen eragiten diote eta kontuan hartu ezean, efektu kaltegarriak sor ditzakete eta ondorioz, komunikazio-sistemaren errendimendua eta abiadura mugatu (Mehrpouyan *et al.*, 2014). Goiburu analogikoen akats esanguratsuenetako bat I/Q desoreka da, ondorengo atalean xehetasunez azalduko dena.

1 Irudia: Igorgailu-hargailuaren arkitektura (Rezola *et al.*, 2014).



3.2 I/Q desorekaren azterketa

RF-ko modulazio koadratiko batean, oinarri bandako fase osagaia $s_I(t)$ osziladore lokal (LO) batek sortutako seinalearekin nahasten da, 1 irudiko karratuan adierazten den bezala. Antzeko zerbait gertatzen da osagai koadratikoarekin $s_Q(t)$, LO-k sortutako seinale berberarekin biderkatzen dena, baina kasu honetan 90° desfasatua, 1 irudian ikusi daitekeen bezala. Oinarri bandan dagoen seinale bat LO-ren seinalearekin nahasteak, seinalearen frekuentzia translazioa dakar. Hau da, oinarri bandako seinalea

$$\tilde{s}(t) = s_I(t) + js_Q(t) \quad (1)$$

bada, non $s_I(t)$ I adarreko osagaia den eta $s_Q(t)$ Q adarrekoa, modulatuak ideal batek oinarri-bandako seinalea

$$l_{tx}(t) = e^{j\omega_{tx}t} = \cos(\omega_{tx}t) + j \sin(\omega_{tx}t) \quad (2)$$

seinalearekin biderkatuko luke, non $l_{tx}(t)$ osziladore lokalak sortutako seinalea den. Irteeran ondorengo seinalea sortuko luke:

$$s(t) = \Re [\tilde{s}(t)l_{tx}(t)] = s_I(t) \cos(\omega_{tx}t) - s_Q(t) \sin(\omega_{tx}t). \quad (3)$$

I/Q modulatzailera benetako zirkuitu elektronikoein implementatzen denean ordea, I eta Q adarrak ez dira zehazki desio den anplitude eta desfasearekin guztiz egokituak izango. Efektu hau oinarri-bandako seinalea osziladore lokalak sortutako $\tilde{l}_{tx}(t)$ seinalearekin biderkatzearen baliokidea da, non $\tilde{l}_{tx}(t)$ ondorengo seinalea den:

$$\tilde{l}_{tx}(t) = \cos(\omega_{tx}t) + jg_{tx} \sin(\omega_{tx}t + \phi_{tx}). \quad (4)$$

g_{tx} eta ϕ_{tx} parametroek igorgailuko I eta Q adarretako osziladore lokalen arteko anplitude eta fase aldakuntzak adierazten dituzte hurrenez hurren, kasu idealean $g_{tx}=1$ eta $\phi_{tx}=0^\circ$ -ko balioak izango lituzketenak.

I/Q desoreka duen modulatzailerean irteeran, hortaz

$$s(t) = (s_I(t) - g_{tx} \sin(\phi_{tx})s_Q(t)) \cos(\omega_{tx}t) - s_Q(t)g_{tx} \cos(\phi_{tx}) \sin(\omega_{tx}t) \quad (5)$$

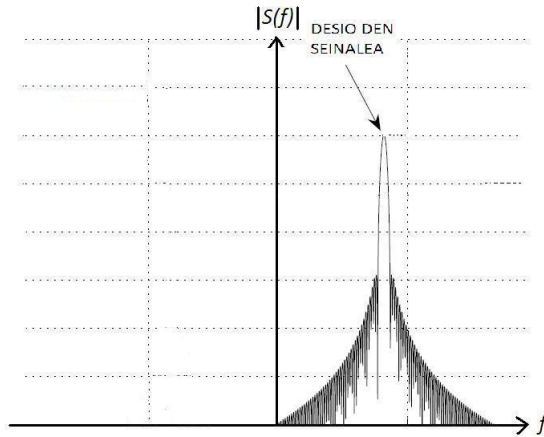
seinalea ageri da (Antilla, 2011).

2 eta 3 irudiek igorgailu irteerako $s(t)$ seinalea adierazten dute maiztasun eremuan. I/Q desorekarik egongo ez balitz, 2 irudiko kasua, espektroan desio den seinalea baino ez genuke ikusiko, erreplika I/Q desoreka edukitzearen ondorio baita. Sistemaren errendimendua neurtzen duen faktore bat IRR parametroa da, erreplikaren gaitzespen proportzioa neurtzen duena eta I/Q desoreka egon ezean, infinitu baliko lukeena. Akats hau ageri denean, ordea, IRR-ak ondorengo forma du igorgailuaren kasuan:

$$\text{IRR}_{tx} = \frac{1 + g_{tx}^2 + 2g_{tx} \cos(\phi_{tx})}{1 + g_{tx}^2 - 2g_{tx} \cos(\phi_{tx})}. \quad (6)$$

Demagun gure sistemaren igorgailuan 1.2 eta 3° -ko desoreka dugula. Kasu horretan, 20.5dB-ko IRR-a izango dugu, hau da, erreplikak desio den seinaleak baino 20.5dB potentzia gutxiago izango du. Aipatu beharra dago sistemaren errendimenduan kalte handiak sahiesteko, beharrezkoa dela gutxienez erreplikaren 35-40dB inguruko gaitzespena.

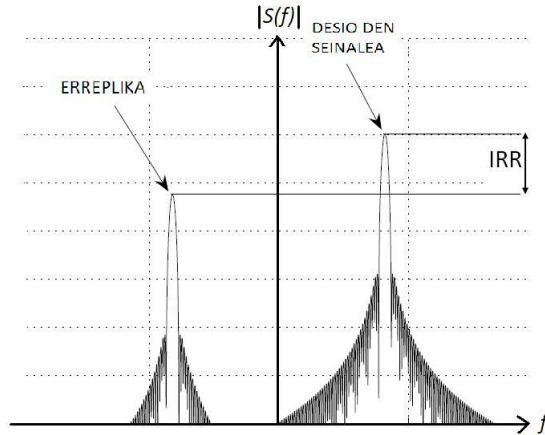
2 Irudia: $s(t)$ seinalearen espektroa I/Q desorekarik ez dagoenean



Hargailuaren kasuarentzat azterketa berdina egiten badugu, IRR faktoreak ondorengo balioa izango du:

$$\text{IRR}_{tx} = \frac{1 + g_{tx}^2 + 2g_{tx} \cos(\phi_{tx})}{1 + g_{tx}^2 - 2g_{tx} \cos(\phi_{tx})}. \quad (7)$$

3 Irudia: $s(t)$ seinalearen espektroa I/Q desoreka ageri denean



non g_{rx} eta phi_{rx} hargailuko I eta Q adarretako osziladore lokalen arteko anplitude eta fase aldakuntzak diren hurrenez hurren.

Aurreko analisisian kontsideratu den I/Q desoreka osziladore lokalak sorturikoa dela suposatu da. Hala ere, I/Q desoreka I eta Q seinaleen arteko batzbesteko desoreka dela kontsidera daiteke, izan ere, ez da osziladore lokala desoreka hau eragiten duen bakarra.

3.3 I/Q desorekaren konpentsazioa

$\tilde{s}'(t) = s'_I(t) + js'_Q(t)$ ekuazioak I/Q desorekak eragindako igorgailuko oinarri-bandako seinaleen baliokidea adierazten du. (1) eta (3) ekuazioetatik abiatuz, ondorengo matrize ekuazioa erator daiteke, igorgailuko I/Q desorekaren eragina adierazten duena:

$$\begin{bmatrix} s'_I(t) \\ s'_Q(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -g_{tx} \sin(\phi_{tx}) \\ 0 & g_{tx} \cos(\phi_{tx}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_I(t) \\ s_Q(t) \end{bmatrix}. \quad (8)$$

(8) ekuazioko matrize karratuak alderantzizkoa badu, ($g_{tx} \neq 0$ eta $\phi_{tx} \neq \pm\pi/2$), I/Q konpentsazioa lor daiteke aurretik alderantzizko eragiketa egiten bada. Honela, I/Q modulatzaileran aurretik distortsionatuta dagoen $\varsigma(t) = \varsigma_I(t) + j\varsigma_Q(t)$ seinalea sartuko da, ondorengo matrize ekuazioan adierazten den bezala:

$$\begin{bmatrix} \varsigma_I(t) \\ \varsigma_Q(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \tan(\phi_{tx}) \\ 0 & 1/(g_{tx} \cos(\phi_{tx})) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_I(t) \\ s_Q(t) \end{bmatrix}, \quad (9)$$

Ondorioz, I/Q modulatzaileraren irteeran seinale garbia edukiko dugu, hau da, I/Q desoreka egongo ez balitz lortuko genukeenaren berdina. Kontuan hartu beharrekoa da aurre distortsio hau egin ahal izateko beharrezkoa dela g_{tx} eta ϕ_{tx} parametroen balioa ezagutzeara (Jentschel, 2000).

Hargailuaren kasuan berdina egin genezake eta hargailuko I/Q konpentsazioaren ondoren seinale garbia lortuko genuke irteeran. Kasu honetan I/Q desorekaren eragina (10) matrize ekuazioan adierazten dena da

$$\begin{bmatrix} r_I(t) \\ r_Q(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -g_{rx} \sin(\phi_{rx}) & g_{rx} \cos(\phi_{rx}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_I(t) \\ z_Q(t) \end{bmatrix} \quad (10)$$

eta (11) ekuazioa aplikatuz gero, hargailuko I/Q konpentsazioa lortuko genuke.

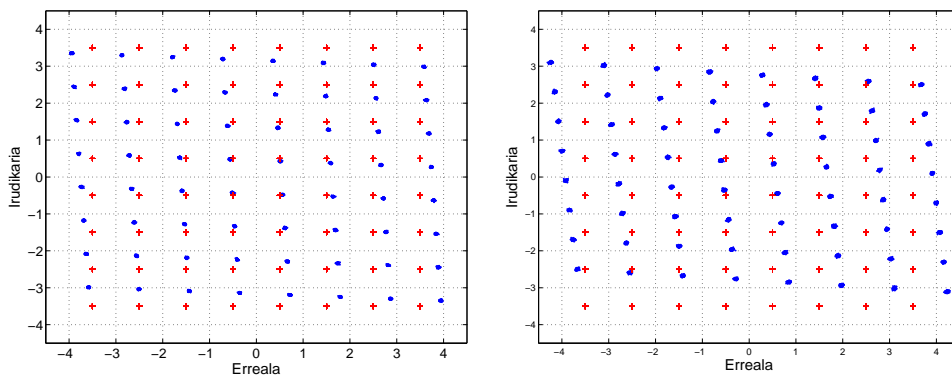
$$\begin{bmatrix} \alpha_I(t) \\ \alpha_Q(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \tan(\phi_{rx}) & 1/(g_{rx} \cos(\phi_{rx})) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z'_I(t) \\ z'_Q(t) \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Hargailuan konpentsazioa seinalea I/Q demodulatzetik pasa ondoren egin behar da eta igorgailuan bezalaxe, beharrezkoa da g_{rx} eta ϕ_{rx} parametroen balioak ezagutzera.

3.4 Simulazioen emaitzak

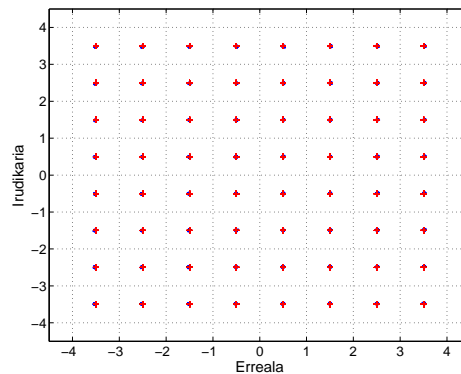
Atal honetan Matlab-en egin diren simulazioen emaitzak aurkeztuko dira. Horretarako, 1 irudiko igorgailu-hargailua simulatu da. 4 irudiak I/Q desorekaren efektua adierazten du zaratarik gabeko transmisioa kontsideratzen denean. Gurutzeek transmisio perfektuaren kasua adierazten dute, hau da, I/Q desorekarik ez dagoen kasua. Puntuak aldiz, I/Q desoreka igorgailu zein hargailuko amplitude eta faseetan hurrenez hurren eta 5(b) irudian 1.5 dB and 5°-ko desoreka. 5(c) irudiak aldiz, 5(b) irudiko zuzendutako kasua adierazten du, hau da, I/Q desorekaren konpentsazioa aplikatu zaiona. 3 konstelazioak aldaratuz gero, ikus daiteke batetik, I/Q desorekak eragindako kalteak ondorio larriak dakarkizkiola komunikazio sistemari, desoreka txikia bada ere; eta bestetik, I/Q desoreka konpentsatzeko teknika konstelazioko distortsioa ezabatatzeko gai dela.

4 Irudia: I/Q desoreka konstelazioan



(a) 1dB eta 3 graduko I/Q desoreka

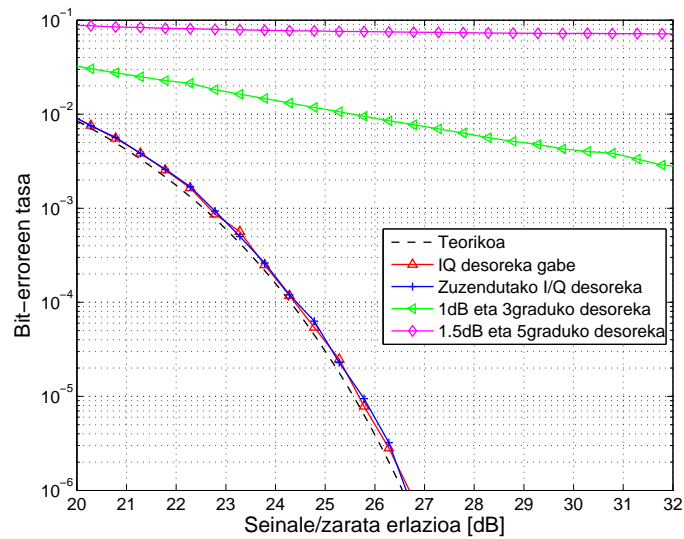
(b) 1.5dB eta 5 graduko I/Q desoreka



(c) Zuzendutako I/Q desoreka

5 irudiak I/Q desorekak igorgailu-hargailuaren errendimenduan duen inpaktua azaltzen du bit-erroreen taseen kurbetan. '*I/Q desoreka gabe*' izena duen kurbak sistemaren errendimendua kasu idealean, hau da, I/Q desorekarik ez dugunean, adierazten du eta ikus daiteke 64-QAM sistemaren kurba teoretikoarekin ia bat datorrela. '*1dB eta 3°-ko I/Q desoreka*' izena duen kurbak aurretik azaldutako 5(a) irudiko kasua azaltzen du eta '*1.5dB eta 5°-ko I/Q desoreka*' kurbak 5(b) irudikoa. '*Zuzendutako I/Q desoreka*' kurbak aldiz, I/Q desoreka konpentsatuta dagoen kasua adierazten du, 5(c) irudiarekin bat datorrena. Ikusi daiteke, azken kurba hau ia I/Q desoreka gabeko kurbarekin bat datorrela eta, ondorioz, konpentsazio teknikak aplikatuz gero, sistemaren errendimenduan ez dagoela ia galerarik.

5 Irudia: Sistemaren errendimendua I/Q desoreka dagoenean.



4 Ondorioak

Artikulu honetan I/Q desorekaren azterketa egin da zero-IF arkitektura erabiltzen duten igorgailu-hargailuentzat. Simulazio emaitzetan ikusi denez, seinalearen prozesatzen digitalaren bitartez, I/Q desoreka konpentsa daiteke igorgailu zein hargailuetan. Konpentsazioaren ondoren sistemaren errendimendu orokorrean sortutako kalte-ordainak arbuia garriak direla ere ikusi da.

Artikuluaz azaldu den konpentsazio teknika aplikagarria da edozein komunikazio sistematan eta ez dago modulazio mota, uhin edo estandar bati lotua. Ondorioz, teknika hauek edozein aplikaziotako igorgailu-hargailuetan aplika daiteke, hala nola, sare mugikorrek, sentore-sareak, mikrouhin loturak etab.

Ondorioz, etorkizuneko igorgailu-hargailuetan ikerketa lan honetan proposaturiko teknikak aplikatzen badira, osagai arrunt eta merkeagoak erabili ahal izango dira goiburu analogikoen disenuan eta ondorioz kostuak murriztu. Ikusi denez, konpentsazio teknikak aplikatu ondoren sistemaren errendimenduan hobekuntza nabarmenak lortzen dira.

5 Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Kontuan hartu beharrekoa da aurreko analisiaren arabera I/Q desorekak berdin eragiten diola maiztasun banda osoari, hau da, maiztasunarekiko independentea dela. Alabaina, sistemaren banda-zabalera handituz doan heinean, I/Q desorekaren maiztasunarekiko aldakuntzak kontuan hartu behar dira. 2GHz-ko seinalearekin jarduterako orduan, adibidez, maiztasunarekiko dependentea den I/Q desoreka ezinbestean kontsideratu beharreko efektua da (Witt, 2011).

Nahiz eta egungo egoeran askoz ere lan gehiago dauden maiztasunarekiko independentea den I/Q desorekari buruzkoak, planteamendu hori ez da nahikoa banda zabaleko seinaleen erabilera nagusitzen ari den heinean. Horregatik, artikulu honetan proposaturiko konpentsazio teknikak ez lirateke nahikoa izango 2GHz-ko seinalearentzat. Banda zabaleko sistema batean I eta Q adarretako D/A eta A/D bihurtailuek desberdintasunak eduki ditzakete, baita behe-paseko iragazkiek eta adarrek berak ere.

Bestetik, I/Q desorekaz gain, badira sistemaren errendimenduari eragiten dioten beste RF akats batzuk ere. Horien artean kontuan hartu beharrekoa da potentzi amplifikadorearen linealtasun falta. Maila altuko modulazioak oso sentikorrek dira PA-ren linealtasun faltarekiko. Hori dela eta, linealtasuna hobetzeko tekniken diseinua komenigarria litzateke, PA-ren zona ez hain lineal batean operatzeko eta horrela, energia eraginkortasun handiagoa lortzeko.

Hau guztia dela eta, etorkizunerako planteatzen den norabideetako bat bi motatako I/Q desorekak eta PA-ren linealtasuna kontuan hartuko dituen seinalearen prozesatze digitalaren bidezko konpentsazio tekniken diseinua da.

Erreferentziak

- ANTILLA, L., 2011. *Digital Front-End Processing with Widely-Linear Signal Models in Radio Devices*. Tampere University of Technology tesia.
- COETZEE, L., eta J. EKSTEEN. 2011. The internet of things - promise for the future? an introduction. In *IST-Africa Conference Proceedings, 2011*, 1–9.
- JENTSCHHEL, H.-J. 2000. Direct conversion receivers - expectations and experiences. In *RF Front End Architectures, IEEE MTT-S 2000, Boston, Workshop*.
- LITJENS, R., YOHAN TOH, HAIBIN ZHANG, eta O. BLUME. 2014. Assessment of the energy efficiency enhancement of future mobile networks. In *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2014 IEEE*, 2336–2341.
- MEHRPOUYAN, H., M.R. KHANZADI, M. MATTHAIYOU, A.M. SAYEED, R. SCHOBBER, eta YINGBO HUA. 2014. Improving bandwidth efficiency in e-band communication systems. *Communications Magazine, IEEE* 52.121–128.
- REZOLA, A., J. F. SEVILLANO, M. LEYH, M. LORENZO, R. BERENQUER, A. VARGAS, eta I. VÉLEZ. 2014. Non-frequency-selective iq imbalance in zero-if transceivers for wide-band mmw links.
- VALKAMA, M., M. RENFORS, eta V. KOIVUNEN. 2001. Advanced methods for I/Q imbalance compensation in communication receivers. *IEEE Transactions on Signal Processing* 49.2335–2344.
- WITT, J.J. DE, 2011. *Modelling, Estimation and Compensation of Imbalances in Quadrature Transceivers*. Stellenbosch University tesia.
- YE, YU, RUI TONG, XIAOWEI SUN, eta JIAN ZHANG. 2014. A linear differential iq modulator with lo chain for e-band wireless communication. In *Wireless Symposium (IWS), 2014 IEEE International*, 1–4.
- ZHANG, JIAN, eta HENGRONG CUI. 2014. E-band receiver and transmitter for high speed wireless communication. In *Communications and Information Technologies (ISCIT), 2014 14th International Symposium on*, 547–550.
- ZHU., ZHIWEN, H. LEUNG, eta XINPING HUANG. 2013. Challenges in reconfigurable radio transceivers and application of nonlinear signal processing for rf impairment mitigation. *IEEE Circuits and Systems Magazine* 13.44–65.

6 Eskerrak eta oharrak

Artikulu hau Europako Erkidegoko VII. Esparru Programaren eta Eusko Jaurlaritzaren diru laguntzei esker eraman da aurrera, FP7-ICT-317957 eta PI2013-13 proiektuen barne, hurrenez hurren.